Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра комплексной безопасности в строительстве

# ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ, СЕРТИФИКАЦИИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

*Методические указания к лабораторным работам*
*для обучающихся по направлению подготовки*
*08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений*

Составители:
О.Г. Мухамеджанова, С.А. Ермаков

© ФГБОУ «НИУ МГСУ», 2021

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2021

УДК 006.91
ББК 30.10
О-75

*Рецензент* — доцент, кандидат технических наук *М.П. Саинов*,
доцент кафедры гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

О-75 **Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества** [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам для обучающихся по направлению подготовки 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений / сост.: О.Г. Мухамеджанова, С.А. Ермаков ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра комплексной безопасности в строительстве. — Электрон. дан. и прогр. ( Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2021. — Режим доступа: http://lib.mgsu.ru/ — Загл. с титул. экрана.

В методических указаниях даны основные сведения к выполнению лабораторных работ по метрологии, стандартизации и сертификации и контролю качества в индустрии строительства.

Для обучающихся по направлению подготовки 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений.

*Учебное электронное издание*

© ФГБОУ «НИУ МГСУ», 2021

Редактор *В.К. Чупрова*
Корректор *Л.В. Светличная*
Компьютерная правка и верстка *О.В. Суховой*
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

*Для создания электронного издания использовано:*
Microsoft Word 2010, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 2021. Объем данных 0,7 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел.: (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

# Оглавление

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ 1–2 ..... 5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 ..... 20
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 ..... 31
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ..... 44

# Лабораторные работы 1–2
# ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИХ ТОЧНОСТИ

**Цель работы:** изучить и освоить методику выполнения измерений, схем измерений и выбора средств измерений для инструментального контроля качества параметров объектов и результатов производства строительных работ.

## 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

В соответствии с терминологией ГОСТ 21778-81 [4] к геометрическим параметрам относятся линейные и угловые величины.

Проведение линейных и угловых измерений при контроле точности геометрических параметров зданий и сооружений и их элементов установлено в ГОСТ 26433.0-85 [8], ГОСТ 26433.2-94 [10], ГОСТ 26433.1-89 [9].

При измерении геометрических параметров зданий и сооружений проводят как прямые, так и косвенные измерения.

Прямые измерения — измерения, при которых искомое значение физической величины определяется непосредственно из опытных данных.

Косвенные измерения — измерения, при которых искомое значение физической величины определяется по формуле.

Предпочтительными являются прямые измерения, так как точность данных измерений выше, чем у косвенных. Косвенное измерение геометрических параметров зданий и сооружений проводят в случаях, когда невозможно и(или) экономически нецелесообразно проводить прямые измерения.

Для измерения линейных размеров и их отклонений применяют линейки, рулетки, светодальномеры и другие средства измерения. Для измерения превышений между точками, а также измерения горизонтальных углов применяют нивелиры, для измерения горизонтальных и вертикальных углов применяют теодолиты, для измерения углов между гранями и ребрами строительных конструкций и их элементов применяют угломеры и поверочные угольники.

Размеры помещений — длину, ширину, высоту — измеряют в крайних сечениях, проведенных на расстоянии 50…100 мм от краев, и в среднем сечении при размерах помещений свыше 3 м, но не более 12 м. При размерах свыше 12 м между крайними сечениями измерения выполняют в дополнительных сечениях.

Отклонения от прямолинейности на лицевой поверхности плоских элементов измеряются не менее чем в двух любых сечениях элемента в направлении светового потока, падающего на эту поверхность в условиях эксплуатации.

Отклонение от плоскости поверхности конструкций измеряют в точках, размеченных на контролируемой поверхности по прямоугольной сетке с шагом от 0,5 до 3 м.

Отклонение от вертикальности определяется по результатам измерений расстояния от отвесной базовой линии до двух точек (верхней, нижней точке конструкции), размеченных в одном вертикальном сечении.

Алгоритм проведения линейных и угловых измерений следующий:

измерения выполняют двойными наблюдениями параметра в каждом из установленных сечений или мест (при числе повторных наблюдений в каждом сечении (месте) $m_i = 2$). Когда требуется повышенная точность, могут проводиться многократные наблюдения при числе повторных наблюдений $m_i$ более 4.

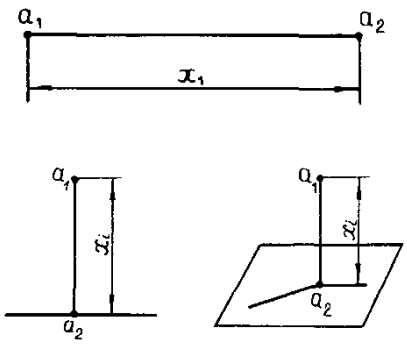
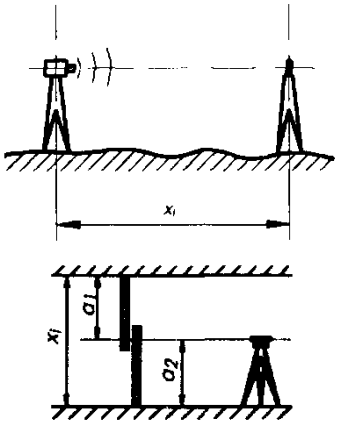
Для уменьшения влияния систематических погрешностей на результат измерения наблюдения производят в прямом и обратном направлениях, а также на разных участках шкалы средства измерений.

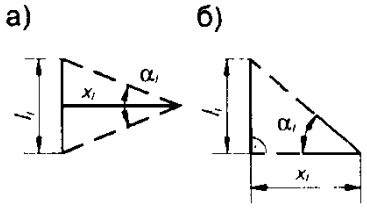
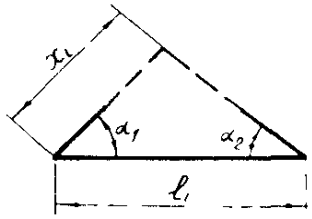
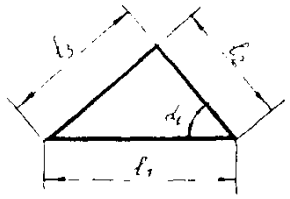
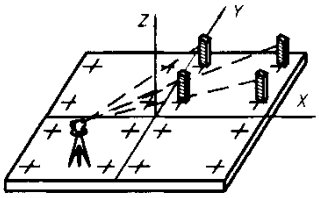
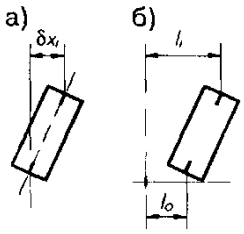
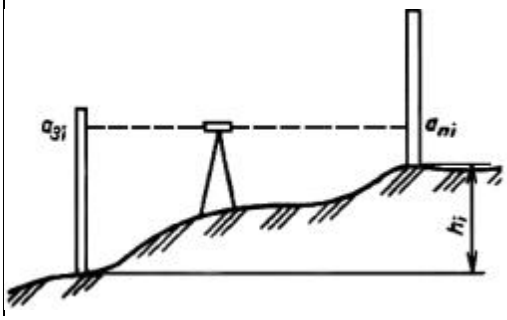
Схемы методов измерений геометрических параметров зданий и сооружений представлены в таблице А1 ГОСТ 26433.2-94.

Примеры схем измерения линейных и угловых размеров зданий и сооружений, а также применение средств и методов измерений представлены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Схема измерений геометрических параметров зданий и сооружений**

| Наименование измеряемого параметра и метода измерений | Схема применения метода и средств измерений | Формула для вычисления измеряемого параметра и пояснения |
|---|---|---|
| 1. Линейные размеры:<br>длина, ширина, высота, глубина, пролет, зазор, межосевой размер, габаритные размеры и др.<br>Измеряются расстояния:<br>а) между двумя фиксированными точками;<br>б) между точкой и прямой, точкой и плоскостью; между двумя параллельными прямыми или плоскостями методом построения и измерения перпендикуляра:<br>– с помощью геодезических приборов и других средств угловых и линейных измерений |  | |
| 2. Измерение размера геодезическим светодальномером или радиодальномером:<br>2.1. При измерении высоты помещения |  | Вычисление по формуле, приведенной в эксплуатационной документации на данный тип дальномера:<br>$x_i = a_1 + a_2$,<br>где $a_1$, $a_2$ — отсчеты по рейке, установленной в положение «0» — вверх и «0» — вниз |
| 3. Угловые размеры: горизонтальные и вертикальные углы; углы, образованные пересечением осей и плоскостей.<br>Прямое измерение углового размера методом сравнения со шкалой угломерного прибора | | $\alpha_i$, $\beta_i$ — горизонтальные и вертикальные углы, соответственно, измеряются и вычисляются по методикам и формулам, приведенным в эксплуатационной документации на данный тип угломерного прибора |

| Наименование измеряемого параметра и метода измерений | Схема применения метода и средств измерений | Формула для вычисления измеряемого параметра и пояснения |
|---|---|---|
| 4. Косвенные измерения линейных размеров:<br>4.1. Измерение расстояния между двумя фиксированными точками методом параллактического треугольника |  | а) $x_i = \frac{l_i}{2}\operatorname{ctg}\frac{\alpha_i}{2}$,<br>б) $x_i = l_i \operatorname{ctg} \alpha_i$,<br>где $l_i$ — известный размер; $\alpha_i$ — измеренный горизонтальный угол |
| 4.2. Измерение расстояния до недоступной точки методом микротриангуляции |  | $x_1 = \frac{l_1 \sin \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}$ |
| 5. Косвенные измерения углового размера:<br>5.1. Метод построения и решения треугольника:<br>– по трем измеренным сторонам $l_1$, $l_2$, $l_3$ |  | $\alpha_1 = \arccos\frac{l_1^2 + l_2^2 - l_3^2}{2l_1l_2}$ |
| 6. Измерение методом геометрического нивелирования при контроле ровности монтажного горизонта |  | $\delta x_1 = 0{,}5(H_{\max} - H_{\min})$,<br>где $H_{\max}$, $H_{\min}$ — отметки наиболее высокой и низкой точек монтажного горизонта |
| 7. Отклонение от отвесной линии колонн, стеновых панелей, стен и других конструкций и их элементов. Измеряются отклонения ориентира оси конструкции |  | а) $\delta x_i = l_i$;<br>б) $\delta x_i = l_i - l_o$ |
| 8. Измерение методом геометрического нивелирования — в пределах одной установки нивелира |  | $x_i = h_i = a_{3i} - a_{ni}$,<br>где $a_{3i}$, $a_{ni}$ — отсчеты по задней и передней по ходу рейкам, соответственно |

Схемы измерений линейных и угловых размеров деталей, изделий, конструкций, изготавливаемых на заводах, строительных площадках и полигонах, представлены в приложении 1 ГОСТ 26433.1-89.

## 2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить схемы измерений геометрических параметров зданий и сооружений, а также деталей, изделий, конструкций, которые представлены в табл. 1, 2.

2. В соответствии с заданием необходимо выбрать метод и средство измерения, согласно табл. 1, 2.

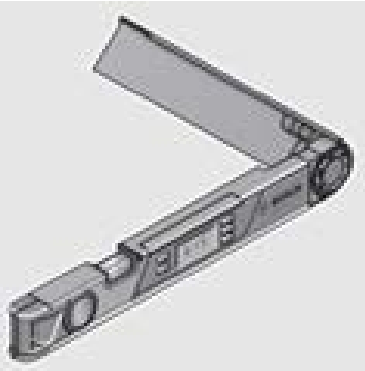
3. Произвести измерения по схемам измерений.

*Таблица 2*

**Средства измерения и их применение для измерений геометрических параметров зданий и сооружений**

| Средства измерения | Применение средств измерений |
|---|---|
| Лазерный дальномер уклономер Bosch glm 50 c professional | 1. Измерение расстояний.<br>2. Измерение угла наклона |
| Теодолит 4Т30П | 1. Измерение вертикальных и горизонтальных углов.<br>2. Измерение расстояний.<br>3. Измерение превышений |
| Нивелир | 1. Определение превышений.<br>2. Измерение расстояний.<br>3. Измерение горизонтальных углов |

*Окончание табл. 2*

| Средства измерения | Применение средств измерений |
|---|---|
| Цифровой угломер  | 1. Измерение и перенос углов.<br>2. Проверка и выверка горизонталей и вертикалей |
| Штангенциркуль | 1. Измерение длины |

Прямое измерение линейных размеров стены дальномером представлено на рис. 1.

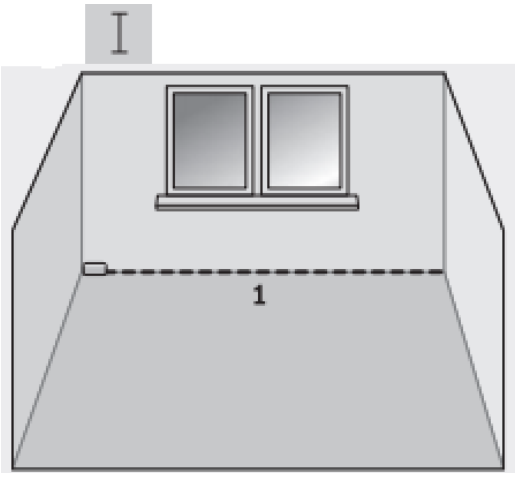
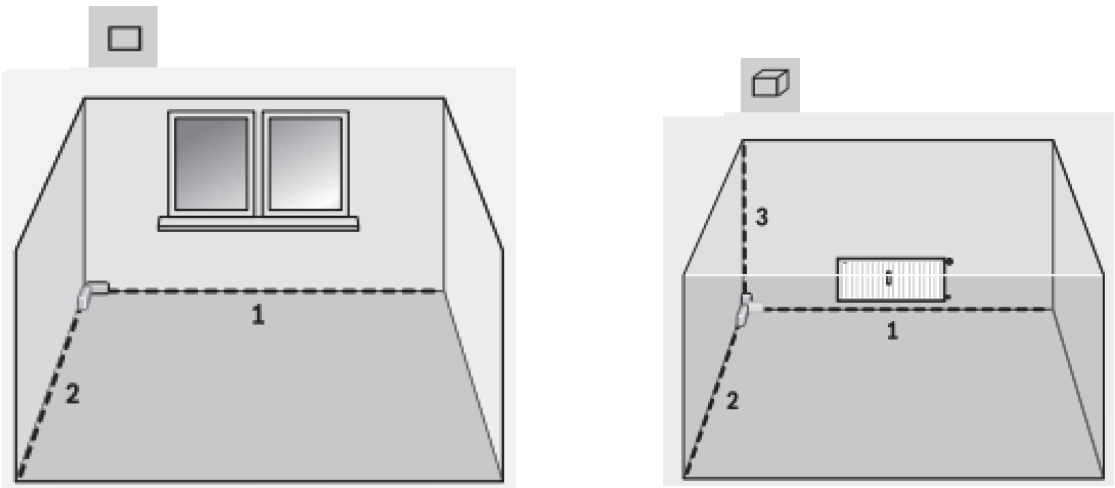



Рис. 1. Измерение длины стены дальномером

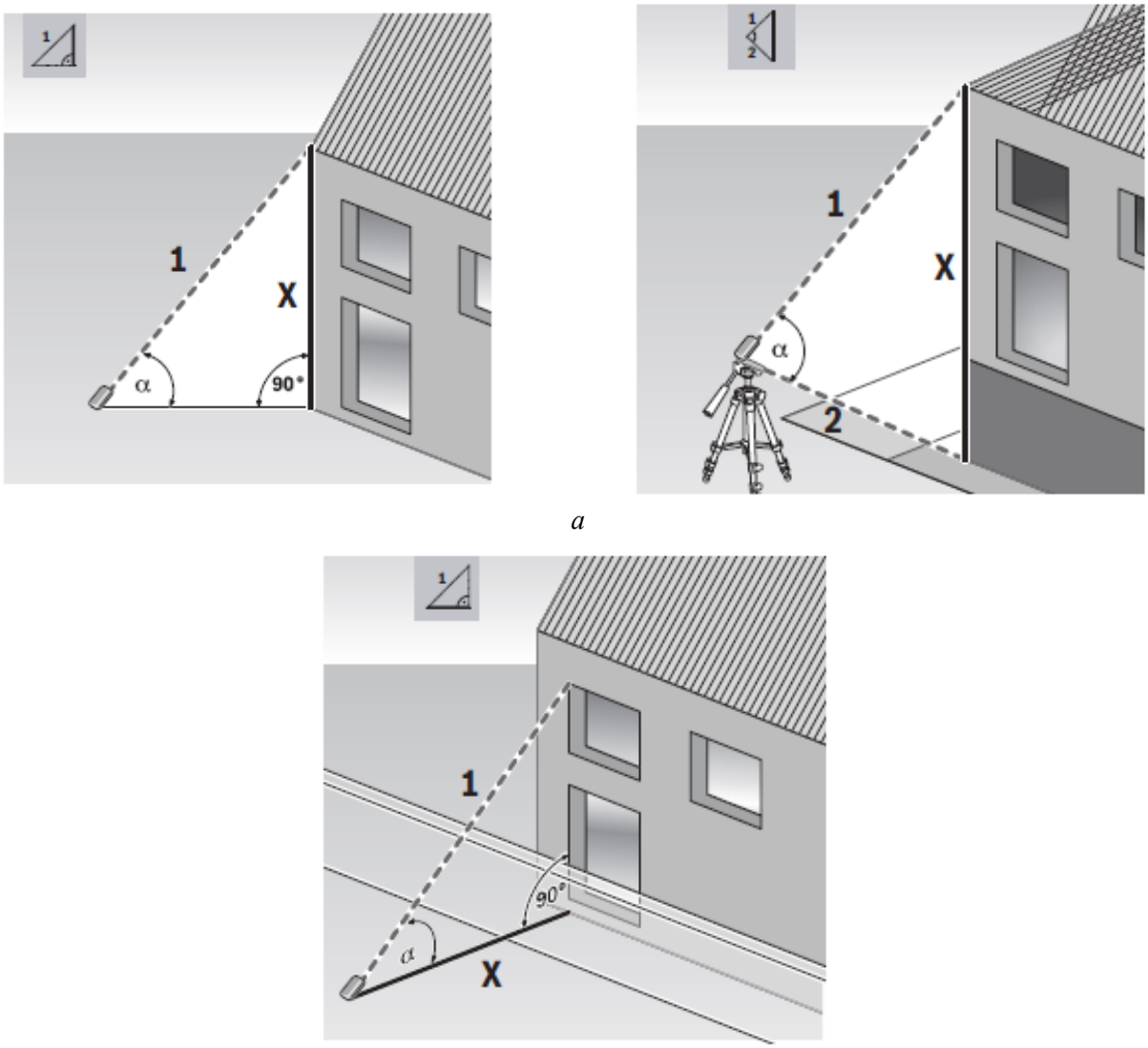
Проведение прямых измерений для определения площади и объема помещения представлено на рис. 2.




*а* *б*

Рис. 2. Измерение размеров: *а* — линейных для определения площади помещения; *б* — размеров для определения объема помещения

Косвенное измерение расстояния методом параллактического треугольника представлено на рис. 3.




*а*

*б*

Рис. 3. Косвенное измерение дальномером линейных размеров: *а* — высоты; *б* — длины

Измерения должны проводиться при нормальных условиях:

– температура окружающей среды 20±2 °С;

– атмосферное давление 101,3 кПа (760 мм рт. ст.);

– относительная влажность окружающего воздуха 60±5 %.

Измерения действительной температуры, относительной влажности воздуха помещения проводятся термогигрометром ТКА-ПКМ.

При отклонении микроклимата от нормальных условий рассчитываются поправки по (1), и они должны быть исключены из результата измерений.

Исключение известных систематических погрешностей из результатов измерений выполняют введением поправок к данным результатам, которые равны этим погрешностям, но противоположны по знаку.

Введением поправок исключают:

– погрешность, возникающую из-за отклонений действительной температуры окружающей среды при измерении от нормальной;

– погрешность, возникающую из-за отклонений атмосферного давления при измерении от нормального;

– погрешность, возникающую из-за отклонений относительной влажности окружающего воздуха при измерении от нормальной;

– погрешность, возникающую из-за отклонений относительной скорости движения внешней среды при измерении от нормальной;

– погрешность, возникающую вследствие искривления светового луча (рефракции);

– погрешность шкалы средства измерения;

– погрешность, возникающую вследствие несовпадения направлений линии измерения и измеряемого размера.

Поправка от отклонения действительной температуры окружающей среды от нормальной определяется по формуле

$$\delta x_{\mathrm{cor},t} = -L[\alpha_1\,(t_1 - 20\ ^\circ\mathrm{C}) - \alpha_2\,(t_2 - 20\ ^\circ\mathrm{C})], \tag{1}$$

где $L$ — непосредственно измеряемый размер, мм;

$\alpha_1$, $\alpha_2$ — коэффициенты линейного расширения средства измерения и объекта, $10^{-6}$ град$^{-1}$, $\alpha_1 = 20{,}5\times10^{-6}$, $\alpha_2 = 12{,}5\times10^{-6}$; $t_1$, $t_2$ — температура средства измерения и объекта, °С.

Поправка на атмосферное давление и относительную влажность $\delta x_{\mathrm{cor},w}$ окружающего воздуха определяется при применении электронно-оптических средств измерений в соответствии с эксплуатационной документацией. Если объект измерения изменяет размер в зависимости от влажности окружающего воздуха, то необходимо ввести поправку в соответствии со свойствами материала.

Поправка на относительную скорость внешней среды $\delta x_{\mathrm{cor},c}$ учитывает влияние силы ветра на результаты измерения и определяется по следующей формуле

$$\delta x_{\mathrm{cor},c} = \frac{Q^2\, l_{\text{пот}}}{24P^2}, \tag{2}$$

где $Q$ — предельное значение допустимой силы ветра, Н;

$P$ — сила натяжения мерного прибора (рулетки, ленты, проволоки), Н;

$l_{\text{пот}}$ — номинальная длина мерного прибора, мм.

Поправка на длину шкалы средства измерения $\delta x_{\mathrm{cor},l}$ учитывает отклонение длины мерного прибора от номинального значения. Данная поправка определяется по формуле

$$\delta x_{\mathrm{cor},l} = \frac{L}{l_{\text{пот}}}\Delta l, \tag{3}$$

где $L$ — измеряемый параметр, мм;

$l_{пот}$ — номинальная длина мерного прибора, мм;

$\Delta l = l_i - l_{пот}$ — разность действительной и номинальной длины мерного прибора, мм.

Поправка на несовпадение направлений линии измерения и измеряемого размера $\delta x_{cor,h}$ определяется по формуле

$$\delta x_{cor,h} = \frac{h^2}{2L}, \quad (4)$$

где $h$ — величина отклонения направления измерения от направления измеряемого размера, мм;

$L$ — измеряемый параметр, мм.

Действительную длину $X_i$ с учетом поправки, к примеру, на температуру окружающей среды следует принимать по формуле

$$x_i" + "или" - "\delta X_{cor,t}. \quad (5)$$

Требования к точности параметра считаются выполненными, если результат измерения данного параметра отвечает условиям, определяющимся по неравенствам:

$$x_{min} \le x_i \le x_{max}; \quad (6)$$

$$\delta x_{inf} \le x_i \le x_{sup}, \quad (7)$$

где $\delta x_{inf}$, $\delta x_{sup}$ — предельные нижнее и верхнее отклонения.

Оценку точности измерений производят сравнением действительной погрешности с предельной погрешностью измерений.

Действительная погрешность $\delta x_{s,met}$ выполненных измерений не должна превышать ее предельного значения $\delta x_{met}$.

Для заданного объекта измерения устанавливаются контролируемые параметры и их характеристики:

– физическая величина;

– единица измерения;

– диапазон возможных количественных значений контролируемых параметров (см. нормативный документ по объекту: ГОСТ, МИ, схемы контроля и т.п.);

– условия измерения, форма объекта и технологичность проведения процесса измерений;

– допуск на значения каждого контролируемого параметра и др.

Используя сведения о контролируемом параметре, выбрать метод и средство измерения.

Произвести предварительную экспериментальную оценку точности измерения геометрических параметров здания с применением выбранного средства измерения.

При использовании лазерного дальномера для уменьшения влияния систематической погрешности первые десять наблюдений выполняют в одном направлении, а вторые десять наблюдений — от обратной стороны (рис. 4).

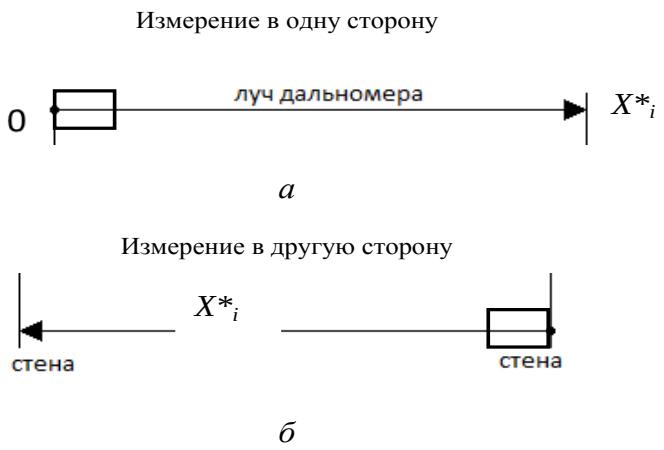



Рис. 4. Результаты измерения расстояния между двумя стенами дальномером:
*а* — в прямом направлении; *б* — в обратном

Результаты наблюдений и последовательность их обработки приведены в табл. 3 ($M$ = 20).

*Таблица 3*

**Результаты наблюдений (на примере применения лазерного дальномера)**

| Номера наблюдений | Измерение дальномера, мм | $X_i - \bar{X}$ | $(X_i - \bar{X})^2$ |
|---|---|---|---|
| В одну сторону | | | |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| В обратную сторону | | | |
| 11 | | | |
| 12 | | | |
| 13 | | | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | | | |
| 17 | | | |
| 18 | | | |
| 19 | | | |
| 20 | | | |
| | | | |

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{M} X_i}{M}. \quad (8)$$

Среднее квадратическое значение результатов измерений находится из выражения

$$S(\breve{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{M}(X_i - \bar{x})^2}{m(M-1)}}. \quad (9)$$

Расчетная погрешность измерения $\Delta x_r$ определяют по формуле

$$\Delta x_r = |\Theta| + t\ S\ (\breve{A}), \quad (10)$$

где $t$ — значение, которое зависит от доверительной вероятности и количества измерений (согласно табл. 1 ГОСТ 26433.0-85);

Θ — неисключенная систематическая погрешность измерений.

Предельная погрешность измерения:

$$\Delta x_{pr} = K\ \Delta x, \quad (11)$$

где $\Delta x$ — допуск измеряемого геометрического параметра, установленный нормативно-технической документацией на объект измерения (находится в соответствии с табл. 1 ГОСТ 21779-82 и зависит от измеряемой длины объекта и класса точности).

Для измерений, выполняемых в процессе и при контроле точности изготовления и установки элементов, а также при контроле точности разбивочных работ, принимают $K$ = 0,2.

Для измерений, выполняемых в процессе производства разбивочных работ, $K$ = 0,4.

Проверяем соблюдения условия: $\Delta x_r \leq \Delta x_{pr}$.

Если данное условие не выполняется, тогда действительная погрешность измерения не соответствует требуемой, поэтому должны быть приняты другие средства измерений или увеличено количество наблюдений $m$. Принимаем $m$ = 4, тогда

$$S(\check{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{M}(X_i - \bar{x})^2}{m(M-1)}}; \quad (12)$$

$$\Delta x_r \leq \Delta x_{pr}. \quad (13)$$

Оформить выводы по работе.

## 3. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

### *Задание к лабораторной работе*

1. Группа обучающихся разбивается на подгруппы и проводит измерения геометрических параметров зданий и сооружений, а также линейных и угловых размеров поверхностей деталей, изделий, конструкций и технологической оснастки в соответствии с табл. 4 и, пользуясь схемами из ГОСТ 26433.2-94 (табл. 1), ГОСТ 26433.1-89 (табл. 2), средствами измерений (табл. 3).

*Таблица 4*

**Задания для измерения линейных и угловых размеров различными методами и средствами измерений**

| № | Измеряемый параметр | Метод измерений | Средство измерения |
|---|---|---|---|
| 1 | Длина | Прямое измерение | Лазерный дальномер уклономер (согласно рис. 1) |
| 2 | Длина | Косвенное измерение методом параллактического треугольника | Лазерный дальномер уклономер (согласно рис. 3*б*) |
| 3 | Высота стены | Косвенное измерение методом параллактического треугольника | Лазерный дальномер уклономер (согласно рис. 3*а*) |
| 4 | Длина | Измерение расстояния до недоступной точки методом микротриангуляции | Теодолит |
| 5 | Вертикальный и горизонтальный угол | | Теодолит |
| 6 | Измерение превышений между точками | Измерение методом геометрического нивелирования (в пределах одной установки нивелира) | Нивелир |
| 7 | Угловой размер | Прямое измерение | Цифровой угломер |
| 8 | Угловой размер | Косвенное измерение методом построения треугольника | Лазерный дальномер уклономер |
| 9 | Измерения диаметра | Косвенное измерение методом измерения хорды и высоты сегмента | Штангенциркуль |

2. По выбранному объекту измерения построить схему и обосновать правильность выбранного средства и метода измерений.

3. Обработать результаты полученных измерений и записать результат измерений.

# 4. ПРОТОКОЛЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

## 4.1. Протокол выполнения лабораторной работы 1

1. Провести измерение геометрических параметров зданий и сооружений согласно табл. 1 (ГОСТ 26433.2-94) и заполнить табл. 5.

*Таблица 5*

**Схемы применения методов и схемы измерений линейных и угловых размеров**

| № п/п | Наименование измеряемого параметра | Схема применения метода | Средство измерения | Результаты измерений | Вычисление измеряемого параметра с пояснениями |
|---|---|---|---|---|---|
| *Прямые измерения* | | | | | |
| *Для линейных измерений* | | | | | |
| 1 | Измерение линейных размеров (длина, ширина, глубина, пролет, межосевой размер и др.) дальномером | | | в одну сторону | |
| | | | | 1 | |
| | | | | 2 | |
| | | | | 3 | |
| | | | | в другую сторону | |
| | | | | 1 | |
| | | | | 2 | |
| | | | | 3 | |
| 2 | Измерение превышений между точками методом геометрического нивелирования (в пределах одной установки нивелира) | | | 1 | |
| | | | | 2 | |
| | | | | 3 | |
| | | | | 4 | |
| | | | | 5 | |
| | | | | 6 | |
| | *Для угловых измерений* | | | | |
| 3 | Прямое измерение углового размера (вертикальный угол, горизонтальный угол) | | | 1 | |
| | | | | 2 | |
| | | | | 3 | |
| *Косвенные измерения* | | | | | |
| *Для линейных измерений* | | | | | |
| 4 | Высота методом параллактического треугольника | | | 1 способ | |
| | | | | 1 | |
| | | | | 2 | |
| | | | | 2 способ | |
| | | | | 1 | |
| | | | | 2 | |
| 5 | Измерение расстояния до недоступной точки методом микротриангуляции | | | 1 | |
| | | | | 2 | |
| 6 | Длина методом параллактического треугольника | | | 1 | |
| | | | | 2 | |
| *Для угловых измерений* | | | | | |
| 7 | Косвенное измерение углового размера методом построения и решения треугольника | | | 1 | |
| | | | | 2 | |
| *Измерение диаметра* | | | | | |
| 8 | Косвенное измерение методом измерения хорды и высоты сегмента | | | 1 | |
| | | | | 2 | |

Заключение_____
_____
_____
_____

Факультет

_____

Курс_____

Группа_____

Студенты_____

_____

_____

Преподаватель

_____

Подпись_____

_____

Дата_____

## 4.2. Протокол выполнения лабораторной работы 2

1. Принимают метод измерений и средство измерения:

прямое измерение здания: _____

средство измерения: _____.

2. Исключают известные систематические погрешности из результатов измерений с введением поправок к этим результатам

Условия окружающей среды:

– температура окружающей среды _____ °С;

– атмосферное давление 760 мм рт. ст.;

– относительная влажность окружающего воздуха 60 ± 5 %.

2.1. Поправка на отклонение температуры окружающей среды от нормальной:

$$\delta X_{\text{cor},t} = -L[\alpha_1\,(t_1 - 20\,°\text{C}) - \alpha_2\,(t_2 - 20\,°\text{C})] = -L[20{,}5 \times 10^{-6}(t_1 - 20\,°\text{C}) - 12{,}5 \times 10^{-6}(t_2 - 20\,°\text{C})] =$$

$$= -\,_____\ \text{мм}.$$

Результат измерений с учетом исключенной поправки: $x_i$ + _____ мм.

3. Провести измерение геометрических размеров зданий

4. Заполнить табл. 6 с результатами измерений, учитывая поправки на измерения.

*Таблица 6*

**Результаты измерений для экспериментального подтверждения точности средств измерений**

| Номера наблюдений | Размеры, полученные в результате наблюдений, $X_i$ | $X_i - \bar{X}$ | $(X_i - \bar{X})^2$ |
|---|---|---|---|
| Прямо | | | |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| Обратно | | | |
| 11 | | | |
| 12 | | | |
| 13 | | | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | | | |
| 17 | | | |
| 18 | | | |
| 19 | | | |
| 20 | | | |
| | | | |

5. Среднее квадратическое отклонение результата измерения $S$ (Ă):

$$S(\breve{A}) = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{m(M-1)}} = _____ \text{ мм},$$

где $m$ — число наблюдений параметра, выполняемых при контроле в данном сечении (месте);

$M$ — число равноточных результатов наблюдений, выполняемых для предварительной оценки.

6. Доверительные границы неисключенной систематической погрешности (НСП):

$$\Theta_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^{M} \Theta_2^2} = \pm_____\text{мм},$$

где $\Theta_1$ — неисключенная систематическая погрешность дальномера ± 1,5 мм;

$\Theta_2$ — неисключенная систематическая погрешность метода измерений.

При измерениях от задней кромки измерительного инструмента, при высокой отражательной способности цели, слабой фоновой подсветкt и 25 °С рабочей температуре НСП метода измерений равна ±0,15 мм;

При измерениях от задней кромки измерительного инструмента, при высокой отражательной способности цели, сильной фоновой подсветке и рабочей температуре от –10 °С до +45 °С НСП метода измерений равна ±0,05 мм.

7. Расчетная погрешность измерения $\Delta x_r$:

$$\Delta x_r = |\Theta| + t\ S\ (\breve{A}) = \pm\ _____ \text{ мм},$$

где $t$ — коэффициент Стьюдента.

8. Определяют предельную погрешность измерения $\Delta x_{pr}$:

$$\Delta x_{pr} = K\ \Delta x = \pm\ _____ \text{ мм}.$$

где $\Delta x$ — допуск линейных размеров для 9 класса точности, установленный нормативно-технической документацией на объект измерения, находится в соответствии с табл. 1 ГОСТ 21779-82.

Для измерений, выполняемых в процессе и при контроле точности изготовления и установки элементов, а также при контроле точности разбивочных работ, принимают $K$ = 0,2.

Для измерений, выполняемых в процессе производства разбивочных работ, $K$ = 0,4.

9. Выполняют оценку соответствия расчетной погрешности измерения требованиям условия

$$\Delta x_r \leq \Delta x_{pr}$$

$$_____ \text{ мм} \leq _____ \text{ мм}.$$

10. В случае несоблюдения условия назначают более точные средства измерения и/или принимают другую методику измерения.

11. Запись результата измерения линейных размеров: $L \pm \Delta$ мм при $P_д$ = 0,95.

Заключение_____

_____

_____

Факультет _____

Преподаватель _____

Курс_____

Группа_____

Студенты_____

_____

_____

Подпись_____

_____

Дата_____

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.

2. Основные теоретические сведения о схемах, методах измерения геометрических параметров зданий и сооружений.

3. Проведение прямых и косвенных измерений по предложенным схемам, методам и средствам измерений.

4. Выбор средств измерений.

5. Расчет погрешности и запись результата измерений.

Выводы.

## 6. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Что такое прямое измерение?
2. Что такое косвенное измерение?
3. Какие измерения более точные — прямые или косвенные?
4. Как определяется расстояние до недоступной точки методом микротриангуляции?
4. Как определяются линейные размеры методом параллактического треугольника?
6. Как рассчитываются поправки на температуру.
7. Как определяются доверительные границы неисключенной систематической погрешности.
8. Как определяется угловой размер методом построения и решения треугольника.
9. Как определяется диаметр методом измерения хорды и высоты сегмента.

## Лабораторная работа 3
## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

**Цель работы:** изучить и приобрести умения и навыки обработки результатов косвенных измерений показателей качества строительных материалов и строительных конструкций.

Обработка результатов косвенных измерений проводится в соответствии с МИ 2083-90 «Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей».

## 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Искомое значение физической величины $A$ находят на основании результатов измерений аргументов $a_1, \ldots, a_i, \ldots, a_m$, связанных с искомой величиной уравнением

$$A = f(a_1, \ldots, a_i, \ldots, a_m). \tag{2.1}$$

При оценивании доверительных границ погрешностей результата косвенного измерения принимают вероятность $P_д = 0{,}95$ или $P_д = 0{,}99$. Использование других вероятностей должно быть обосновано.

В данной работе рассматриваются рекомендации для оценивания косвенно измеряемой величины и погрешностей результата измерения:

– при линейной зависимости;

– при нелинейной зависимости.

Алгоритм обработки результатов косвенных измерений следующий:

I. *Косвенные измерения при линейной зависимости*

1.1. Искомое значение $A$ связано с $m$ измеряемыми аргументами $a_1, a_2, \ldots, a_m$ уравнением

$$A = b_1 a_1 + b_2 a_2 + \ldots + b_m a_m \ , \tag{2}$$

где $b_1, b_2, \ldots, b_m$ — постоянные коэффициенты при аргументах $a_1, a_2, \ldots, a_m$ соответственно.

1.2. Результат косвенного измерения $\tilde{A}$ вычисляют по формуле

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^{m} b_i \, \tilde{a}_i, \tag{3}$$

где $\tilde{a}_i$ — результат измерения аргумента $a_i$; $m$ — число аргументов.

1.3. Среднее квадратическое отклонение результата косвенного измерения $S(\tilde{A})$ вычисляют по формуле

$$S\left(\tilde{A}\right) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} b_i^2 \ S^2\left(\tilde{a}_i\right)} \ = \sqrt{\left(b_1 S_1\right)^2 + \left(b_2 S_2\right)^2 + \ldots + \left(b_m S_m\right)^2} \ , \tag{4}$$

где $S(\tilde{a}_i)$ — среднее квадратическое отклонение результата измерения аргумента $a_i$; $\tilde{a}_i$ — среднее арифметическое значение аргумента $a_i$.

1.4. Доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения при условии, что распределения погрешностей результатов измерений аргументов не противоречат нормальным распределениям, вычисляют (без учета знака) по формуле

$$\varepsilon(p) = t_q S(A), \tag{5}$$

где $t_q$ — коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности $P = 1 - q$ и числу степеней свободы $f_{эф}$.

1.5. Вычисляют границы неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения.

Если неисключенные систематические погрешности результатов измерений аргументов заданы границами $\Theta_i$, то доверительные границы неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения $\Theta(P)$ при вероятности $P$ вычисляют по формуле

$$\Theta(P) = k\sqrt{\sum_{i=1}^{m} b_i^{\,2}\ \ \Theta_i^{\,2}}, \tag{6}$$

где $k$ — поправочный коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью и числом $m$ составляющих $\Theta_i$.

При доверительной вероятности $P$ = 0,95 поправочный коэффициент $k$ принимают равным 1,1.

При доверительной вероятности $P$ = 0,99 поправочный коэффициент принимают равным 1,4.

1.6. Погрешность результата косвенного измерения оценивают на основе композиции распределений случайных и неисключенных систематических погрешностей.

1.6.1. Если $\Theta(P)/S(\tilde{A}) > 8$, то за погрешность результата косвенного измерения принимают неисключенную систематическую составляющую погрешности измерения и ее границы вычисляют как границы неисключенной систематической погрешности $\Theta(P)$.

1.6.2. Если $\Theta(P)/S(\tilde{A}) > 0{,}8$, за погрешность результата косвенного измерения принимают случайную составляющую погрешности измерения и ее границы вычисляют как границы случайной погрешности $\varepsilon(P)$.

1.6.3. Если $0{,}8 \leq \Theta(P)/S(\tilde{A}) \leq 8$, то доверительную границу погрешности результата косвенного измерения $\Delta(P)$ вычисляют (без учета знака) по формуле

$$\Delta(P) = K(\varepsilon(P) + \Theta(P)),$$

где $K$ — коэффициент, зависящий от доверительной вероятности и от отношения $\Theta(P)/S(\tilde{A})$.

Значения коэффициента $K$ в зависимости от отношения $\Theta(P)/S(\tilde{A})$ для вероятности $P$ = 0,95 и $P$ = 0,99:

| $\Theta(P)/S(\tilde{A})$ | 0,5 | 0,75 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $K$ (для $P$=0,95) | 0,81 | 0,77 | 0,74 | 0,71 | 0,73 | 0,76 | 0,78 | 0,79 | 0,80 | 0,81 |
| $K$ (для $P$=0,99) | 0,87 | 0,85 | 0,82 | 0,80 | 0,81 | 0,82 | 0,83 | 0,83 | 0,84 | 0,85 |

II. *Косвенные измерения при нелинейной зависимости*

2.1. Для проведения косвенных измерений при нелинейных зависимостях и некоррелированных погрешностях измерений аргументов используется метод линеаризации. Данный метод предполагает разложение нелинейной функции в ряд Тейлора:

$$f(a_1, \ldots, a_m) = f(\tilde{a}_1, \ldots, \tilde{a}_m) + \sum_{i=1}^{m} \frac{\partial f}{\partial a_i} \Delta a_i + R,$$

где $f(a_1, \ldots, a_m)$ — нелинейная функциональная зависимость измеряемой величины $\tilde{A}$ от измеряемых аргументов $a_i$; $\frac{\partial f}{\partial a_i}$ — первая производная от функции $f$ по аргументу $a_i$, вычисленная в точке $\tilde{a}_1, \ldots, \tilde{a}_m$; $\Delta a_i$ — измерения отклонения результата аргумента $a_i$ от его среднего арифметического; $R$ — остаточный член.

2.2. Данный метод линеаризации применим в случае, если можно пренебречь остаточным членом $R$. Это становится возможным когда

$$R = \frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{m} \frac{\partial^2 f}{\partial a_i\, \partial a_j}_{i \neq j} \left(\Delta a_i\, \Delta a_j\right) < 0{,}8\sqrt{\sum_{i=1}^{m} \left(\frac{\partial f}{\partial a_i}\right)^2 S^2\,(\tilde{a}_i)}, \tag{7}$$

где $S(\tilde{a}_i)$ — среднее квадратическое отклонение случайных погрешностей результата измерения $a_i$-го аргумента.

Отклонения $\Delta a_i$ берут из полученных значений погрешностей такими, чтобы они максимизировали выражение для остаточного члена $R$.

Результат измерения $\widetilde{\mathrm{A}} = f(\tilde{a}_1, \ldots, \tilde{a}_m)$ вычисляют с подстановкой в уравнения средних значений аргументов $\tilde{a}_1, \ldots, \tilde{a}_m$.

2.3. Среднее квадратическое отклонение случайной погрешности результата косвенного измерения $S(\widetilde{\mathrm{A}})$ вычисляют по формуле

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \left(\frac{\partial f}{\partial a_i}\right)^2 S^2(\tilde{a}_i)} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a_1} S_{a_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial a_2} S_{a_2}\right)^2 + \ldots + \left(\frac{\partial f}{\partial a_n} S_{\mathrm{a}_m}\right)^2}, \tag{8}$$

где $\frac{\partial f}{\partial a_i}$ — частная производная от функции $f$ по аргументу $a_i$, вычисленная в точке $\tilde{a}_1, \ldots, \tilde{a}_m$; $S(\tilde{a}_i)$ — среднее квадратическое отклонение результата измерения аргумента $a_i$.

2.4. Доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения при условии, что распределения погрешностей результатов измерений аргументов не противоречат нормальным распределениям, вычисляют в соответствии с уравнением

$$\varepsilon(P) = t\, S(\widetilde{\mathrm{A}})\,, \tag{9}$$

где $t$ — коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности $P$ (принимаем равным 0,95 или 0,99) и числу измерений;

$S(\tilde{A})$ — среднее квадратическое отклонение случайной погрешности результата косвенного измерения.

2.5. Границы неисключенной систематической погрешности (НСП) результата косвенного измерения

$$\Theta(P) = k\sqrt{\sum_{i=1}^{m} \left(\frac{\partial f}{\partial a_i}\right)^2 \Theta^2{}_i} = k\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a_1}\right)^2 \Theta^2{}_1 + \left(\frac{\partial f}{\partial a_2}\right)^2 \Theta^2{}_2 + \ldots \left(\frac{\partial f}{\partial a_m}\right)^2 \Theta^2{}_m}. \tag{10}$$

2.6. Погрешность результата косвенного измерения оценивают на основе сравнения случайных и неисключенных систематических погрешностей согласно п.1.6.

Окончательный результат измерения физической величины записывается в виде:

а) $x = \bar{\mathrm{x}} \pm \Delta$ — при нормальном законе распределения значений физической величины;

б) $\bar{\mathrm{x}}$, $S_x$, $n$, $\Theta$ — при отсутствии данных о виде функции распределения составляющих погрешности результата измерений.

## 2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить общие теоретические вопросы по косвенным измерениям в соответствии со следующей нормативно-технической документацией:

– МИ 2083-90 «Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей»;

– ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»;

– ГОСТ 26433.2-94 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений параметров зданий и сооружений».

2. По заданному преподавателем параметру обучающийся устанавливает уравнение зависимости вычисления данных физических величин.

3. Установить определяемые величины для проведения их прямых измерений.

4. Выбрать для проведения прямых измерений средства измерения. Для измерения применяют линейки по ГОСТ 427, рулетки по ГОСТ 7502, светодальномеры по ГОСТ 19223, весы, теодолиты и др.

5. Провести прямые измерения параметров объекта (по каждому параметру не менее 10).

Результаты измерений записать в табл. 7.

*Таблица 7*

**Результаты прямых измерений**

| № п/п | $a_i$ | $a_i - \bar{a}$ | $(a_i - \bar{a})^2$ | $b_i$ | $b_i - \bar{b}$ | $b_i - \bar{b}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| … | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| Среднее значение | $\frac{\sum a_i}{n}$ | — | $\sum_{i=1}^{n}(a_i - \bar{a})^2$ | $\frac{\sum b_i}{n}$ | — | $\sum_{i=1}^{n}\left(b_i - \bar{b}\right)^2$ |

6. Определить номинальное значение параметра, определяемого косвенным способом по уравнению зависимости измеряемой величины.

7. Выполнить расчет среднего квадратического отклонения линейных размеров объекта.

8. Рассчитать среднее квадратическое отклонение случайной погрешности результата косвенного измерения $S(\tilde{A})$ по формулам (4) или (8).

9. Определить доверительные границы случайной погрешности косвенных измерений по формуле (9).

10. Рассчитать среднее квадратическое отклонение неисключенной систематической погрешности по формулам (6) или (10).

11. Погрешность результата косвенного измерения оценивают на основе композиции распределений случайных и неисключенных систематических погрешностей по условиям, указанным в п. 1.6.

Сделать выводы по работе.

Записать окончательный результат измерения физической величины в виде:

а) $x = \overline{x} \pm \Delta$ — при нормальном законе распределения значений физической величины;

б) $\bar{x}$, $S_x$, $n$, $\Theta$ — при отсутствии данных о виде функции распределения составляющих погрешности результата измерений.

## 3. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

### *Задание к лабораторной работе*

Определить косвенное измерение и его отклонение при линейной и нелинейной зависимости измеряемой величины (с доверительной вероятностью $P_д = 0{,}95$) (табл. 8).

*Таблица 8*

**Исходные данные к проведению лабораторных работ**

| Вариант | Объект | Параметр | Средство измерения |
|---|---|---|---|
| 1 | Комната | Периметр $P = 2a + 2b$ | Цифровой лазерный дальномер |
| | Выступающая балка | Длина $x_i = l_i \operatorname{ctg} \alpha_i$ | Цифровой лазерный дальномер, теодолит |
| 2 | Комната | Периметр $P = a + b + c + d$ | Цифровой лазерный дальномер |
| | Лестница | Угол $\alpha_1 = \arccos \frac{l_1^2 + l_2^2 - l_3^2}{2 l_1 l_2}$ | Цифровой лазерный дальномер |

## 4. ПРОТОКОЛ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 3.1

1. Провести прямые измерения длины и ширины.
2. Результаты измерений записать в табл. 9:
   $a_1$ — измеренная длина, мм;
   $a_2$ — измеренная ширина, мм;

*Таблица 9*

**Результаты измерений периметра помещения**

| № п/п | $a_1$ | $(a_1 - \overline{a_1})^2$ | $a_2$ | $(a_2 - \overline{a_2})^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| Среднее значение | $\overline{a_1} = \frac{\sum a_1}{n}$ | $\sum_{i=1}^{n} (a_1 - \overline{a_1})^2$ | $\overline{a_{i2}} = \frac{\sum a_2}{n}$ | $\sum_{i=1}^{n} (a_2 - \overline{a_2})^2$ |

3. Определить периметр ($P$)

$$P = 2\overline{a_1} + 2\overline{a_2}.$$

4. Среднее квадратическое отклонение для параметра длины ($a_1$):

$$S_{a_1} = \sqrt{\frac{\sum(a_1 - \bar{a}_1)^2}{n(n-1)}} = _____ \text{ мм.}$$

5. Среднее квадратическое отклонение для параметра ширины ($a_2$):

$$S_{a_2} = \sqrt{\frac{\sum(a_2 - \bar{a}_2)^2}{n(n-1)}} = _____ \text{ мм.}$$

6. Среднее квадратическое отклонение случайной погрешности результата $S(\tilde{A})$ для измеренного периметра:

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} b_i^{\,2}\, S^2(\hat{a}_i)} = \sqrt{\left(2S_{a_1}\right)^2 + \left(2S_{a_2}\right)^2} =$$

$$= _____ = _____ \text{ мм.}$$

7. Доверительные границы случайной погрешности для периметра:

$$\varepsilon(p) = t_q S(\tilde{A}) = \pm _____ \text{ мм,}$$

где $t_q$ — коэффициент Стьюдента при $P_д$ = 0,95, $f$= $n$ – 1.

8. Неисключенная систематическая погрешность $\Theta_1$ = ± ____ мм — для длины; $\Theta_2$ = ± ____мм — для ширины.

9. Границы неисключенной систематической погрешности периметра:

$$\Theta(P) = k\sqrt{\sum_{i=1}^{m} b_i^{\,2}\, \Theta^2{}_i} = k\sqrt{(2)^2\Theta^2{}_1 + (2)^2\Theta^2{}_2} =$$

$$_____ = _____ \text{ мм.}$$

10. Рассчитать доверительные границы отклонения косвенного измерения.

_____

Выводы по результатам: результат измерений необходимо записать в виде: периметр $P$ =… ±Δ мм при $P_д$ = 0,95.

Заключение_____

_____

_____

Факультет Преподаватель

_____ _____

Курс_____

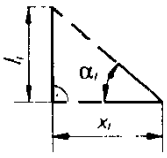
Группа_____

Студенты_____ Подпись_____

_____ _____

## 5. ПРОТОКОЛ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 3.2

1. Провести прямые измерения длины и угла.
2. Результаты измерений записать в табл. 10.




$l_i$ — измеренная длина, мм;
$\alpha_i$ — измеренный горизонтальный угол.

*Таблица 10*

**Результаты измерений**

| № п/п | $\alpha_i$ | $(\alpha_i - \overline{\alpha_i})^2$ | $l_i$ | $(l_i - \overline{l_i})^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| Среднее значение | $\overline{\alpha_i} = \frac{\sum \alpha_i}{n}$ | $\sum_{i=1}^{n}(\alpha_i - \overline{\alpha_i})^2$ | $\overline{l_i} = \frac{\sum l_i}{n}$ | $\sum_{i=1}^{n}(l_i - \overline{l_i})^2$ |

3. Определить номинальное значение косвенно измеряемого параметра по соответствующей формуле $f(l, \alpha) = l \operatorname{ctg} \alpha$.

4. Выполнить проверку неравенства

$$R = \frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{m} \frac{\partial^2 f}{\partial a_i \partial a_j}_{i \neq j} (\Delta a_i \, \Delta a_j) < 0{,}8 \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \left(\frac{\partial f}{\partial a_i}\right)^2 S^2(\tilde{a}_i)},$$

где $\frac{\partial f}{\partial \alpha} = \frac{-l}{\sin^2\alpha}$, $\frac{\partial f}{\partial l} = \operatorname{ctg} \alpha$, $\frac{\partial^2 f}{\partial \alpha \, \partial l} = \frac{-1}{\sin^2\alpha}$

_____

_____=_____мм

5. Среднее квадратическое отклонение для параметра $\alpha_i$:

$$S_{a_1} = \sqrt{\frac{\sum(\alpha_i - \overline{\alpha_i})^2}{n(n-1)}} = _____ \text{ град.}$$

6. Среднее квадратическое отклонение для параметра $l_i$:

$$S_{a_2} = \sqrt{\frac{\sum(l_i - \overline{l_i})^2}{n(n-1)}} = _____ = _____ \text{ мм.}$$

7. Среднее квадратическое отклонение случайной погрешности результата $S(\widetilde{\mathrm{A}})$ для косвенно измеряемого параметра:

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}\left(\frac{\partial f}{\partial a_i}\right)^2 S^2(\hat{a}_i)} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a_1}S_{a_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial a_2}S_{a_2}\right)^2 + \ldots + \left(\frac{\partial f}{\partial a_n}S_{a_m}\right)^2}$$

=_____

_____=_____мм,

где частные производные $\frac{\partial f}{\partial \alpha} = \frac{-l}{\sin^2\alpha}$, $\frac{\partial f}{\partial l} = \mathrm{ctg}\,\alpha$.

8. Доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения:

$$\varepsilon(p) = t_q S(\tilde{A}) = \pm_____ = _____ \text{ мм},$$

где $t_q$ — коэффициент Стьюдента при $P_д$ = 0,95, $f = n - 1$.

9. Неисключенная систематическая погрешность Θ = ± 1,5 мм для цифрового лазерного дальномера и Θ = ± 30 — для теодолита.

10. Границы неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения:

$$\Theta(P) = k\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\left(\frac{\partial f}{\partial a_i}\right)^2 \Theta^2{}_i} = k\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a_1}\right)^2 \Theta^2{}_1 + \left(\frac{\partial f}{\partial a_2}\right)^2 \Theta^2{}_2 + \ldots \left(\frac{\partial f}{\partial a_m}\right)^2 \Theta^2{}_m}$$

=_____

_____=_____мм,

где частные производные $\frac{\partial f}{\partial \alpha} = \frac{-l}{\sin^2\alpha}$, $\frac{\partial f}{\partial l} = \mathrm{ctg}\,\alpha$.

11. Определить доверительную границу отклонения косвенного измерения:

_____

_____

Заключение:

результат измерений необходимо записать в виде $x \pm \Delta$ мм при $P_д$ = 0,95.

_____

_____

Факультет _____ Преподаватель _____

Курс_____

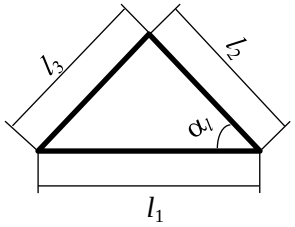
Группа_____

Студенты_____ Подпись_____

_____ _____

## 6. ПРОТОКОЛ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 3.3

1. Провести прямые измерения длины.




2. Результаты измерений записать в табл. 11:
$l_{i1}$ — измеренная первая длина, мм;
$l_{i2}$ — измеренная вторая длина, мм;
$l_{i3}$ — измеренная третья длина, мм.

*Таблица 11*

**Результаты измерений**

| № п/п | $l_{i1}$ | $(l_{i1} - \overline{l_{i1}})^2$ | $l_{i2}$ | $(l_{i2} - \overline{l_{i2}})^2$ | $l_{i3}$ | $(l_{i3} - \overline{l_{i3}})^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| Среднее значение | $\overline{l_{i1}} = \frac{\sum l_{i1}}{n}$ | $\sum_{i=1}^{n}(l_{i1} - \overline{l_{i1}})^2$ | $\overline{l_{i2}} = \frac{\sum l_{i2}}{n}$ | $\sum_{i=1}^{n}(l_{i2} - \overline{l_{i2}})^2$ | $\overline{l_{i3}} = \frac{\sum l_{i3}}{n}$ | $\sum_{i=1}^{n}(l_{i3} - \overline{l_{i3}})^2$ |

3. Определить номинальное значение косвенно измеряемого параметра по соответствующей формуле $f(l_1, l_2, l_3) = \arccos\frac{{l_1}^2 + {l_2}^2 - {l_3}^2}{2l_1l_2}$.

4. Выполнить проверку неравенства

$$R = \frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{m}\frac{\partial^2 f}{\partial a_i \partial a_j}_{i\neq j}(\Delta a_i\,\Delta a_j) < 0{,}8\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\left(\frac{\partial f}{\partial a_i}\right)^2 S^2(\tilde{a}_i)},$$

_____

_____=_____ град,

где

$$\frac{\partial f}{\partial l_1} = \frac{{l_2}^2 - {l_1}^2 - {l_3}^2}{l_1\sqrt{4{l_1}^2{l_2}^2 - ({l_1}^2 + {l_2}^2 - {l_3}^2)^2}};\quad \frac{\partial f}{\partial l_2} = \frac{{l_1}^2 - {l_2}^2 - {l_3}^2}{l_2\sqrt{4{l_1}^2{l_2}^2 - ({l_1}^2 + {l_2}^2 - {l_3}^2)^2}};\quad \frac{\partial f}{\partial l_3} = \frac{2l_3}{\sqrt{4{l_1}^2{l_2}^2 - ({l_1}^2 + {l_2}^2 - {l_3}^2)^2}};$$

$\frac{\partial f}{\partial l_1 \partial l_2} = \frac{8l_1l_2{l_3}^2}{((4{l_1}^2{l_2}^2 - ({l_1}^2 + {l_2}^2 - {l_3}^2)^2)^{3/2}}$; $\frac{\partial f}{\partial l_1 \partial l_3}$ и $\frac{\partial f}{\partial l_2 \partial l_3}$ предлагается рассчитать самостоятельно.

5. Среднее квадратическое отклонение для параметра $l_1$:

$$S_{l1} = \sqrt{\frac{\sum(l_{i1} - \overline{l_1})^2}{n(n-1)}} = _____ \text{ мм.}$$

Для параметров $l_2$ и $l_3$ расчет аналогичный.

6. Среднее квадратическое отклонение случайной погрешности результата $S(\tilde{A})$ для косвенно измеряемого параметра:

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}\left(\frac{\partial f}{\partial a_i}\right)^2 S^2(\hat{a}_i)} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a_1}S_{a_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial a_2}S_{a_2}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial a_n}S_{a_m}\right)^2}$$

_____

_____=_____ град.

7. Доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения:

$$\varepsilon(p) = t_q S(\tilde{A}) = \pm_____ \text{ град,}$$

где $t_q$ — коэффициент Стьюдента при $P_д = 0{,}95$, $f = n - 1$.

8. Неисключенная систематическая погрешность $\Theta = \pm 1{,}5$ мм для цифрового лазерного дальномера.

9. Границы неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения:

$$\Theta(P) = k\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\left(\frac{\partial f}{\partial a_i}\right)^2 \Theta^2{}_i} = k\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a_1}\right)^2 \Theta^2{}_1 + \left(\frac{\partial f}{\partial a_2}\right)^2 \Theta^2{}_2 + \ldots \left(\frac{\partial f}{\partial a_m}\right)^2 \Theta^2{}_m}$$

_____

_____=_____град.

10. Определить доверительную границу отклонения косвенного измерения.

Заключение:

_____

_____

_____

_____

Результат измерений необходимо записать в виде $\alpha \pm \Delta$ град., при $P_д = 0{,}95$.

| | |
|---|---|
| Факультет | Преподаватель |
| _____ | _____ |
| Курс_____ | |
| Группа_____ | |
| Студенты_____ | Подпись_____ |
| _____ | _____ |

## 7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Основные теоретические сведения о косвенных измерениях физической величины.
3. Заполнение таблицы результатов косвенных измерений параметров.
4. Представление результата измерений.

Выводы.

## 8. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Какие измерения называем косвенными?
2. Какие параметры в вашей задаче определяются через прямые измерения?
3. Перечислите этапы обработки результатов косвенных измерений.
4. Каким образом устанавливается среднее квадратическое отклонение параметра, вычисляемого косвенным способом?
5. Дайте характеристику случайных погрешностей. Примеры возникновения случайных погрешностей.
6. Дайте определение неисключенных систематических погрешностей, факторы их образования. Примеры возникновения неисключенных систематических погрешностей.
7. Как определить наличие неисключенных систематических погрешностей в представленных измерениях, возможность их исключения из результатов измерений?
8. В каком случае возможно исключение неисключенной систематической погрешности?
9. Какие параметры определяют окончательный результат измерения физической величины?

## Лабораторная работа 4
## ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ (КАЛИБРОВКИ И ЮСТИРОВКИ) СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ. МЕТРОЛОГИЧЕСИЕ СВОЙСТВА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

**Цель работы:** ознакомиться с методами поверки, калибровки, юстировки средств измерений и получить навыки их проведения. Изучить метрологические свойства средств измерений.

## 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**Метрологией** называется наука, направленная на обеспечение точности и единства измерений. Под единством измерений понимается характеристика качества процесса измерений, заключающаяся в том, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам воспроизведенных величин, а погрешности результатов измерений известны с заданной вероятностью и не выходят за установленные пределы. На достижение и поддержание единства измерений на должном уровне направлена деятельность государственных и ведомственных метрологических служб. Одной из форм этой деятельности является поверка средств измерения (СИ).

В соответствии с Федеральным законом от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (см. гл. 2 Основные понятия) **поверка средств измерений** (далее также — поверка) — совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям. Поверку средства измерения осуществляют путем сличения его показаний с показаниями более точного (образцового) средства измерения. В результате оценки осуществляется вынесение заключения о возможности/невозможности использования данного средства измерения.

Средства измерений, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования по обеспечению единства измерений, подлежат поверке, данные средства измерений своевременно в обязательном порядке должны проходить поверку, что удостоверяется знаком поверки и (или) свидетельством о поверке.

Поверка СИ осуществляется строго в соответствии с требованиями нормативных документов по поверке, установленными при утверждении типа СИ. Поверитель проводит внешний осмотр СИ, контролирует параметры условий окружающей среды и регистрирует наблюдения в протоколе. Результаты поверки СИ оформляются протоколами, в которых регистрируют фактические значения метрологических характеристик с указанием погрешностей измерений, выводы о соответствии метрологических характеристик. Форма протокола поверки СИ установлена в нормативном документе по поверке. Порядок проведения поверки представлен на рис. 5.

При положительных результатах поверки оформляется Свидетельство о поверке СИ.

Метролог (поверитель) осуществляет поверку на месте эксплуатации средств измерений с помощью методики поверки.

Результаты поверки оформляются итоговым протоколом. В протокол заносят максимальные значения погрешностей, определенные результатом поверки. По результатам поверки метролог выписывает Свидетельство о поверке или Извещение о непригодности СИ.

**Калибровка средств измерений** — совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений.

Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут в добровольном порядке подвергаться калибровке.

**Юстировка средства измерения** — совокупность операций по приведению его в рабочее состояние, обеспечивающее точность, корректность и надежность его действия. При юстировке (регулировке или настройке) средств измерений осуществляются проверка и наладка измерительного либо оптического устройства, подразумевающие достижение верного взаиморасположения частей устройства и правильного их взаимодействия. Во время юстировки средств измерений, которая выполняется во время либо после сборки устройств и узлов средств измерений, достигается соответствие в них нужных технических характеристик и свойств методом устранения либо компенсации погрешностей.

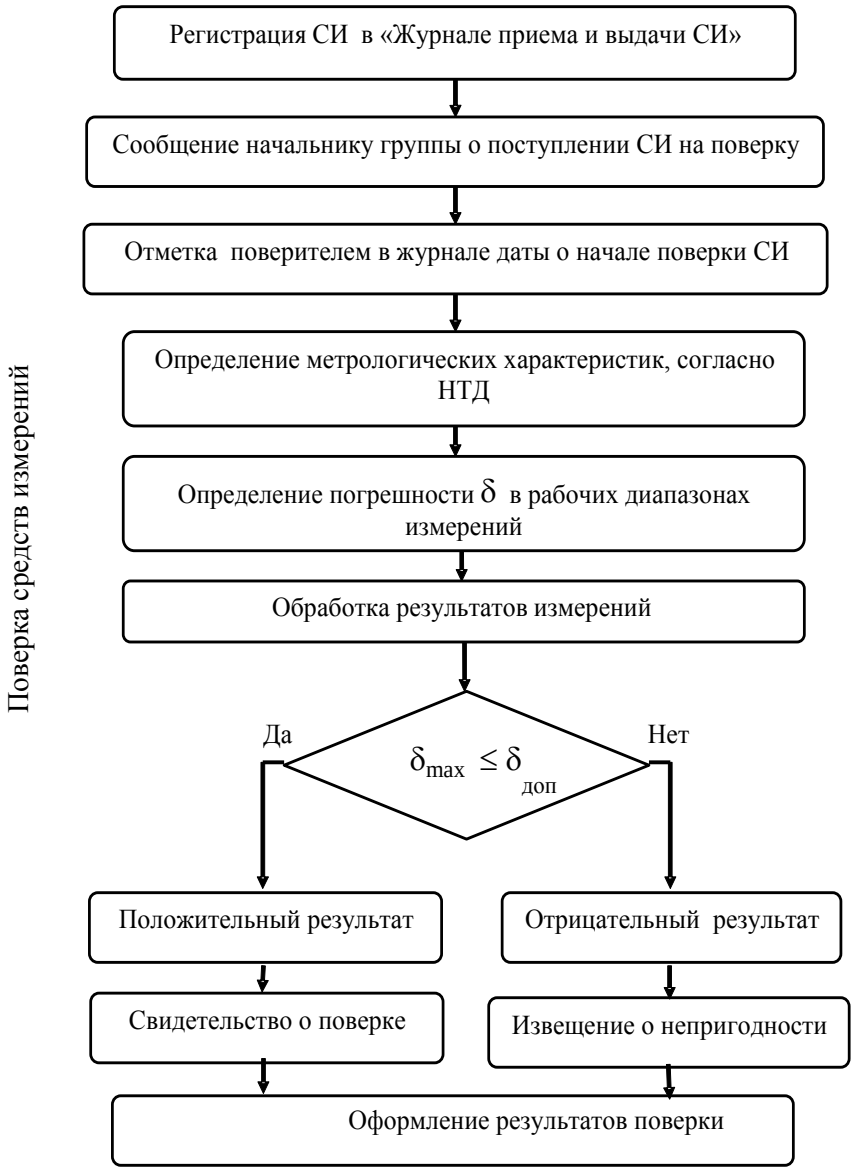



Рис. 5. Порядок проведения поверки средств измерений

Ошибки при проектировании средств измерений, погрешности их производства (отличия черт материалов, погрешности размеров, форм, положения деталей) и сборки могут привести к нарушению и искажению заданных нужных метрологических характеристик средств измерения, что обусловливает необходимость их юстировки. В таком случае требуется проведение дополнительных мероприятий по устранению или компенсации тех или других погрешностей методом изменения положения деталей, деформации, дополнительной обработки, действия на их характеристики либо на их функционирование и т.д. для обеспечения заданных характеристик устройства либо узла.

Юстировка средств измерений предполагает: исследование устройства и мер по достижению требуемой точности, контроль характеристик измерения, выявление погрешностей и неисправностей и их устранение.

***При юстировке применяются следующие действия***:

– устранение дефектов средством обработки деталей;

– установка правильного расположения деталей средством регулировочных винтов, прокладок и пр.;

– установка правильных показаний шкал и др.

Основной метрологической характеристикой СИ является погрешность, которая отражает его точность и определяется разностью между показанием СИ и истинным значением измеряемой величины. Так как истинное значение измеряемой величины не может быть определено абсолютно точно, то вместо него используют действительное значение, под которым понимают экспериментально найденное значение, настолько приближающееся к истинному, что может быть принято в качестве последнего. Как правило, действительные значения воспроизводят образцовые СИ, с показаниями которых сравнивают поверяемые СИ. Для большинства приборов допустимая предельная абсолютная погрешность равна цене деления шкалы.

Основные требования к организации и порядку проведения поверки СИ приведены в правилах по метрологии ПР 50.2.006.94 «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения».

***При поверке выполняются следующие операции*** (см. рис. 5):

– внешний осмотр прибора с целью идентификации прибора и выявления дефектов, которые могут привести к ошибкам при измерениях, его порче (нарушение маркировки, наличие трещин, отсоединившихся деталей, искривление указателя, деформация шкалы, отсутствие индикатора наклона прибора);

– опробование прибора производится с целью проверки исправности измерительного механизма и его способности к плавному реагированию на изменение измеряемой величины.

***Метрологические характеристики средств измерений***

Одним из важных показателей средств измерений, влияющих на их выбор, являются метрологические характеристики, к которым относятся физическая величина измерений, погрешность ее измерения, диапазон измерений физической величины, чувствительность, класс точности, цена деления шкалы и др. Характеристика метрологических свойств средств измерений дана в ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений.

## 2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТЫ

Для выполнения методики и оформления работы следует:

– изучить метрологические характеристики средств измерений;

– осмотреть прибор (внешний вид) с целью идентификации и выявления дефектов, которые могут привести к ошибкам при измерениях, его порче (нарушение маркировки, наличие трещин, отсоединившихся деталей, искривление указателя, деформация шкалы, отсутствие индикатора наклона прибора).

### 2.1. Изучить методику поверки (калибровки) электронных весов

В соответствии с ГОСТ OIML R 76-1-2011 [16] к метрологическим характеристикам весов относятся следующие показатели:

– максимальная нагрузка max: максимальное значение нагрузки без учета диапазона компенсации массы тары;

– минимальная нагрузка min: значение нагрузки, ниже которого результаты взвешивания могут иметь недопустимо большую относительную погрешность;

– диапазон взвешивания: диапазон между минимальным и максимальным значениями нагрузки;

– действительная цена деления (шкалы) $d$: разность, выраженная в единицах массы, между двумя значениями, соответствующими двум соседним отметкам шкалы для аналоговой индикации или следующим друг за другом показаниям для цифровой индикации;

– поверочный интервал весов e: величина, выраженная в единицах массы и применяемая для классификации и при поверке весов;

– чувствительность: для данного значения измеряемой массы — это частное от деления изменения $\Delta L$ наблюдаемой величины $L$ на соответствующее изменение $\Delta m$ измеряемой массы $m$.

Весы электронные лабораторные M-ER 326 AFU LCD представлены на рис. 6.

Рис. 6. Внешний вид весов электронных лабораторных M-ER 326 AFU LCD

Дисплей весов представлен на рис. 7.

Рис. 7. Изображение дисплея весов

Расшифровка клавиш дисплея весов представлена на рис. 8.

| | |
|---|---|
| | Подключено питание от сети |
| ▲ | Вес выше интервала допуска |
| OK | Вес в интервале допуска |
| ▼ | Вес ниже интервала допуска |
| Г | Единица измерения грамм |
| КГ | Единица измерения килограмм |
| ФТ | Единица измерения фунт |
| СУМ | Режим суммирования результатов взвешивания |
| ▪0▪ | Стабилизация нуля |
| ▪Т▪ | Режим простого взвешивания |

Рис. 8. Расшифровка клавиш дисплея весов

Клавиатура весов представлена на рис. 9.

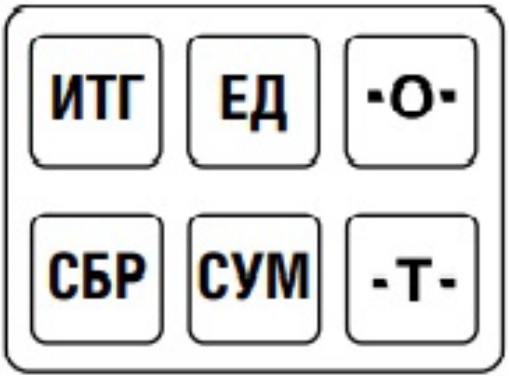



Рис. 9. Изображение клавиатуры весов

Расшифровка клавиш клавиатуры весов показана на рис. 10.

| | |
|---|---|
| ▪Т▪ | Режим учета веса тары |
| СУМ | Режим суммирования результатов взвешивания |
| СБР | Выход из режимов |
| ▪О▪ | Стабилизация нуля |
| ЕД | Выбор единицы измерения |
| ИТГ | Показ суммарного результата взвешиваний |

Рис. 10. Расшифровка клавиш клавиатуры весов

*Режимы работы весов*

Простое взвешивание:

груз размещается на платформе, нажимаете клавишу «ЕД», на дисплее отображается масса в г, кг, фунтах.

*Режим учета массы тары*

Разместите тару на платформе, нажмите клавишу «–Т–», затем установите на платформу груз, на дисплее весов отобразится масса без тары. Для выхода из режима повторно необходимо нажать клавишу «–Т–».

*Режим суммирования результатов взвешивания*

Разместите первый груз на платформе, нажмите клавишу «СУМ». На дисплее отобразится $P$ = 01, затем размещается второй груз, нажимают «СУМ», на дисплее изображено $P$ = 02. После взвешивания последнего груза нажимают клавишу «ИТГ». На дисплее отобразится количество взвешиваний $P$ =…. и суммарный вес. Для сброса сохраненного веса необходимо нажать клавишу «СБР».

*Методы испытания весов*

Погрешности весов должны быть определены при нормальных условиях испытаний. Температура считается стабильной, если разность между крайними значениями температуры, отмеченными во времени испытания, не превышает 1/5 температурного диапазона данных весов, но не более 5 °С.

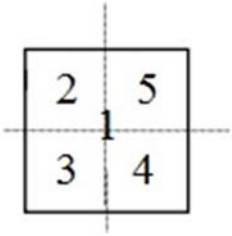



Рис. 11. Место установки гирь на платформе весов

Испытания на нецентральное нагружение. Образцовую гирю (1) прикладывают к центру платформы, результат измерения массы гири записывают в табл. 12, а остальные гири (2, 3, 4, 5) равномерно располагают по сегменту согласно рис. 11 и соответственно записывают массы гирь 2, 3, 4, 5. Определяется абсолютная погрешность весов.

Погрешность каждого из показаний весов при различном расположении образцовых гирь на грузоподъемном устройстве не должна превышать предела допускаемой погрешности данных весов.

*Таблица 12*

**Независимость показания весов от положения груза**

| № п/п | Результат измерения $X_i$, г | Абсолютная погрешность измерения, г $\Delta = X_{изм} - X_{ист(действ.\ значен.)}$ | Предел допускаемой погрешности, г |
|---|---|---|---|
| 1 | | | ± 0,5 |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |

*Испытание на взвешивание.* Сначала начинают проводить постепенное нагружение весов: устанавливают гири на платформе (от минимальной нагрузки в 5 г до максимальной нагрузки в 6000 г) с определенным шагом нагружения, результаты каждого нагружения записывают в табл. 13. Затем весы начинают разгружать в обратном порядке до минимальной нагрузки (min), результаты каждого разгружения записывают также в табл. 13. Определяется абсолютная погрешность при постоянном разгружении и нагружении.

Погрешность весов не должна превышать предела допускаемой погрешности данных весов.

*Таблица 13*

**Определение погрешности электронных весов**

| № п/п | Нагружение или разгружение | Масса гирь, г | Результат измерения $X_i$, г | Абсолютная погрешность измерения, г $\Delta = X_{изм} - X_{ист(действ.значен.)}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Нагружение | 5,0 | | |
| 2 | Нагружение | 100,0 | | |
| 3 | Нагружение | 200,0 | | |
| 4 | Нагружение | 200,0 | | |
| 5 | Нагружение | 500,0 | | |
| 6 | Нагружение | 1000,0 | | |
| 7 | Нагружение | 1000,0 | | |
| 8 | Нагружение | 1000,0 | | |
| 9 | Нагружение | 2000,0 | | |
| 10 | Разгружение | 2000,0 | | |
| 11 | Разгружение | 1000,0 | | |
| 12 | Разгружение | 1000, 0 | | |
| 13 | Разгружение | 1000,0 | | |
| 14 | Разгружение | 500,0 | | |
| 15 | Разгружение | 200,0 | | |
| 16 | Разгружение | 200,0 | | |
| 17 | Разгружение | 100,0 | | |
| 18 | Разгружение | 5,0 | | |

Чувствительность весов — свойство выходить из состояния равновесия при незначительном изменении массы груза. Чувствительность равна дискретности весов.

Дискретность (цена деления шкалы $d$) — минимальная величина, на которую происходит изменение показания веса.

## 2.2. Изучение методики поверки (калибровки) дальномера по показателю точности

Определение погрешности измерения расстояний производится путем многократного, не менее 10 раз, измерения не менее 3 контрольных (эталонных) линий, действительные длины которых равномерно расположены в диапазоне измерения. Погрешность измерения расстояния (каждой линии) вычисляется по формуле

$$\Delta_j = S_{эj} - \frac{\sum_{i=1}^{n_j} S_{ij}}{n_j}, \quad (1)$$

где $\Delta_j$ — погрешность измерения $j$-й линии;

$S_{эj}$ — эталонное (действительное) значение $j$-й линии;

$S_{ij}$ — измеренное значение $j$-й линии $i$-приемом;

$n_j$ — число приемов измерений $j$-й линии.

Погрешность измерения расстояний не должна превышать $\pm(1{,}5 + 20 \times D \times 10^{-6})$, мм — измеряемое расстояние.

Установить контрольные отметки (линии — средство измерения длины) для поверки или калибровки средств измерений.

Результаты контрольных измерений лазерным дальномером записать в табл. 14.

*Таблица 14*

**Проведение поверки дальномера согласно методике поверки**

| Эталонное значение/ Результаты измерений | 1 м | 5 м | 10 м | 50 м |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |

Выполнить обработку результатов измерений согласно выражению (1) и сопоставить с допустимыми из НТД.

Выполнить упражнение по лабораторной работе и сделать выводы.

## 3. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

### *Задание к лабораторной работе (табл. 15)*

*Таблица 15*

**Исходные данные к проведению поверки (калибровки) средств измерения**

| Вариант | Средство измерения | Контролируемые характеристики |
|---|---|---|
| 1 | Весы электронные лабораторные M-ER 326 AFU LCD | Масса |
| 2 | Лазерный дальномер | Длина |

## 4. ПРОТОКОЛ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 4.1

Поверка (калибровка) дальномера на соответствие точности (табл. 16).

*Таблица 16*

**Внешний осмотр прибора**

| № п/п | Проверяемые позиции дальномера | Результат |
|---|---|---|
| 1 | Тип, модель прибора | |
| 2 | Заводской номер | |
| 3 | Дата изготовления | |
| 4 | Диапазон измерения, мм | |
| 5 | Цена деления, мм | |
| 6 | Потребляемая мощность, Вт | |
| 7 | Общее состояние покрытия | |
| 8 | Погрешность дальномера, мм | |
| | Вывод по результатам осмотра | |

1. Нарисовать схему поверки (калибровки) средства измерения и отметить точки измерения (рис. 12).

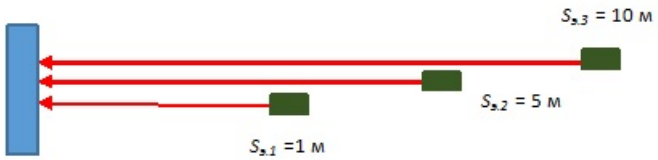



Рис. 12. Схема калибровки средств измерения
по четырем контрольным линиям

2. Заполнить таблицу по поверке (калибровке) светодальномера (табл. 17).

*Таблица 17*

**Поверка (калибровка) светодальномера**

| Эталонное значение/ Результаты измерений | 1 м | 5 м | 10 м | 50 м |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| Погрешность измерения $\Delta_j$ | | | | |

3. Определить погрешность измерения расстояния по каждой линии:

$\Delta_{1000} = S_{эj} - \frac{\sum_{i=1}^{n_j} S_{i,j}}{n_j} = \pm$_____ мм;

$\Delta_{5000} = S_{эj} - \frac{\sum_{i=1}^{n_j} S_{i,j}}{n_j} = \pm$_____ мм;

$\Delta_{10\,000} = S_{эj} - \frac{\sum_{i=1}^{n_j} S_{i,j}}{n_j} = \pm$_____ мм;

$\Delta_{20\,000} = S_{эj} - \frac{\sum_{i=1}^{n_j} S_{i,j}}{n_j} = \pm$_____ мм.

4. В соответствии с ГОСТ 19223-90 «Светодальномеры геодезические. Общие технические условия» допустимая средняя квадратическая погрешность измерения расстояния одним приемом светодальномера:

$m_{D1000} = a + b\,D\,10^{-6} = \pm$_____ мм;

$m_{D5000} = a + b\,D\,10^{-6} = \pm$_____ мм;

$m_{D10\,000} = a + b\,D\,10^{-6} = \pm$_____ мм;

$m_{D50\,000} = a + b\,D\,10^{-6} = \pm$_____ мм,

где $a$, $b$ — табличные значения в табл. 1 ГОСТ 19223-90; $D$ — измеренное расстояние, мм.

5. Светодальномер прошел поверку (калибровку) по показателю погрешности измерений расстояния по каждой линии, если выполняются следующие условия по каждой линии: $\Delta_j \leq m_D$.

6. Если дальномер не прошел поверку (калибровку), необходимо проводить юстировку средства измерений.

Заключение по поверке (калибровке) дальномера _____

_____

Факультет

Преподаватель

_____ _____

Курс_____

Группа_____

Студенты_____ Подпись_____

_____ _____

## 5. ПРОТОКОЛ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 4.2

### Поверка (калибровка) весов на соответствие точности

1. Произвести внешний осмотр весов. Результаты осмотра оформить в таблицах и сделать заключение по результатам данного осмотра (табл. 18, 19, 20).

1.1. Обозначение и метрологические характеристики весов.

*Таблица 18*

| № п/п | Наименование проверяемой характеристики | Результат |
|---|---|---|
| 1 | Тип весов, обозначение весов | |
| 2 | Заводской номер | |
| 3 | Обозначение класса точности на весах | |
| 4 | Поверочный интервал весов, *e* | |
| 5 | Действительная цена деления, *d* | |
| 6 | Максимальная нагрузка, г | |
| 7 | Минимальная нагрузка, г | |
| 8 | Диапазон рабочих температур, °С | |

1.2. Проверка работоспособности органов управления.

*Таблица 19*

| № п/п | Обозначение | Наименование кнопок | Соответствует/не соответствует |
|---|---|---|---|
| 1 | Кнопка ON /OFF | Включение/выключение | |
| 2 | Кнопка –О– | Стабилизация нуля | |
| 3 | Кнопка ЕД | Выбор единиц измерения | |
| 4 | Кнопка –Т– | Учет веса тары | |
| 5 | СУМ | Режим суммирования результатов взвешивания | |
| 6 | ИТГ | Показ суммарного результата взвешивания | |
| 7 | СБР | Выход из режима суммирования | |

1.3. Проверка режимов работы весов.

*Таблица 20*

| № п/п | Наименование режима | Наименование кнопок | Соответствует/не соответствует |
|---|---|---|---|
| 1 | Простое взвешивание | _____ г | |
| | | _____кг | |
| | | _____ФТ | |
| 2 | Режим учета массы тары | | |
| | | | |
| 3 | Режим суммирования результатов взвешивания | | |

Заключение по результатам внешнего осмотра_____

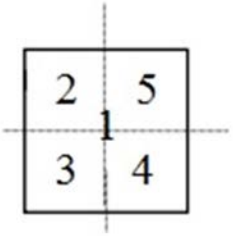



Рис. 13. Место установки гирь на грузоприемном устройстве

2. Определение метрологических характеристик.

2.1. Определение температуры _____ °С.

2.2. Испытания на нецентральное нагружение.

Образцовая гиря ($m$ = 500 г) устанавливается по центру (1) и взвешивается, а затем производится взвешивание в положении (2), (3), (4), (5) согласно рис. 13.

Независимость показания весов от положения груза и показания погрешности весов занести в табл. 21, 22.

*Таблица 21*

**Независимость показания весов от положения груза**

| № п/п | Результат измерения $X_i$, г | Абсолютная погрешность измерения, г $\Delta = X_{\text{изм}} - X_{\text{ист(действ.значен.)}}$ | Предел допускаемой погрешности, г |
|---|---|---|---|
| 1 | | | ± 0,5 |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |

Выводы_____

2.3. Испытание на взвешивание.

На весы устанавливают гири от 5 до 6000 г, а затем происходит постепенное разгружение.

*Таблица 22*

**Погрешность показаний весов**

| № п/п | Нагружение или разгружение | Масса гирь, г | Результат измерения $X_i$, г | Абсолютная погрешность измерения, г $\Delta = X_{\text{изм}} - X_{\text{ист(действ.значен.)}}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Нагружение | 5,0 | | |
| 2 | Нагружение | 100,0 | | |
| 3 | Нагружение | 200,0 | | |
| 4 | Нагружение | 200,0 | | |
| 5 | Нагружение | 500,0 | | |
| 6 | Нагружение | 1000,0 | | |
| 7 | Нагружение | 1000,0 | | |
| 8 | Нагружение | 1000,0 | | |
| 9 | Нагружение | 2000,0 | | |
| 10 | Разгружение | 2000,0 | | |
| 11 | Разгружение | 1000,0 | | |
| 12 | Разгружение | 1000,0 | | |
| 13 | Разгружение | 1000,0 | | |
| 14 | Разгружение | 500,0 | | |
| 15 | Разгружение | 200,0 | | |
| 16 | Разгружение | 200,0 | | |
| 17 | Разгружение | 100,0 | | |
| 18 | Разгружение | 5,0 | | |

2.4. Определение чувствительности весов.

Чувствительность весов составляет_____

Заключение по поверке (калибровке) весов_____

Факультет

_____

Курс_____

Группа_____

Студенты_____

_____

_____

Преподаватель

_____

Подпись_____

_____

Дата_____

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Основные теоретические сведения о поверке средств измерения. Алгоритм поверки (калибровки).
3. Метрологические характеристики прибора, учитываемые при поверке.
4. Составить схему калибровки (поверки) прибора.
5. Заполнить таблицу результатов поверки параметров (или калибровки).
6. Представление результата поверки (калибровки).
7. Решения упражнений по заданному варианту.

Выводы.

## 7. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Что относят к поверке средств измерений?
2. Что относят к калибровке средств измерений?
3. Что понимается под юстировкой средств измерений?
4. Что относят к метрологическим характеристикам средств измерений?
5. Перечислите этапы проведения поверки средств измерений.
5. Что определяет класс точности средств измерения?
6. Дайте определение приведенной погрешности измерения.
7. По каким характеристикам устанавливается класс точности средств измерения через относительную погрешность?
8. Чем отличается понятие порога чувствительности от чувствительности прибора?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. ГОСТ 166. Штангенциркули. Технические условия.
2. ГОСТ 19223-90. Светодальномеры геодезические. Общие технические условия (с Изменением № 1).
3. ГОСТ 21778-81. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения.
4. ГОСТ 21779-82. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски.
5. ГОСТ 21780-83 (СТ СЭВ 3740-82). Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности.
6. ГОСТ 23615-79 (СТ СЭВ 5061-85). Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Статистический анализ точности.
7. ГОСТ 23616-79 (СТ СЭВ 4243-83). Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Контроль точности.
8. ГОСТ 26433.0-85. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Общие положения.
9. ГОСТ 26433.1-89. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Элементы заводского изготовления.
10. ГОСТ 26433.2-94. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений параметров зданий и сооружений.
11. ГОСТ 26607-85 (СТ СЭВ 4416-83). Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Функциональные допуски. Постановление Госстроя СССР от 28.06.85 № 102. ГОСТ от 28.06.85 № 26607-85.
12. ГОСТ 427. Линейки измерительные металлические. Технические условия.
13. ГОСТ 7502. Рулетки измерительные металлические. Технические условия.
14. ГОСТ 8.453-82 ГСИ. Весы для статического взвешивания. Методы и средства поверки.
15. ГОСТ 8.736-2011. ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.
16. ГОСТ OIML R 76-1-2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания (с Поправкой).
17. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная поверочная схема для средства измерений звукового давления в воздушной среде в диапазоне частот от 2 Гц до 1 000 Гц.
18. МИ 1317-2004. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.
19. МИ 2083-90. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.
20. ПР 50.2.006. 94. ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения.
21. РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
22. СТО НОСТРОЙ 2.1.94-2013. Измерения геометрических параметров зданий, сооружений и контроль их точности.